

KOMPJUTORSKI PROGRAM ZA RAČUNANJE TEMPERATURNOG GRADIJENTA I KUTA REFRAKCIJE

Milivoj FLORIJEAN — Osijek*

1. UVOD

U članku je opisan programski sistem TGREFR za računanje kuta refrakcije iz meteoroloških činilaca pripremljenih za elektroničko računalo (kompjutor). Općenito su prikazani tok računanja i rezultati, bez detaljnog opisa samog programa. Program TGREFR, napisan u ALGOL-u, značajan je rad Niklause Wunderlina [1] iz Instituta za geodeziju i fotogrametriju Visoke tehničke škole u Zürichu. On je ugradio u njega svoja desetogodišnja istraživanja refrakcije na trigonometrijskoj mreži pokraj Berna, a koristio je pri tome iskustva Kukkamäkia, Levalloisa, Pasta, Bomforda i dr.

Računanje svjetlosnog puta prema Fermatovom principu pretpostavlja poznavanje indeksa loma, odnosno gustoće zraka, koja je, kao što znamo, ovisna od tlaka i temperature duž svjetlosnog puta, a naročito od vertikalnog temperaturnog gradijenta. Pošto temperatura i temperaturni gradijent predstavlja velik problem u računanju kuta refrakcije, autor je tom pitanju posvetio puno pažnje. Tako npr. računa temperaturni gradijent u ovisnosti od kuta osvjetljenja Sunca, a i od meteoroloških faktora: vjetra, naoblake, tlaka vodene pare kao i njihovih vremenskih promjena. Na taj način može se približiti stvarnim odnosima koji vladaju u atmosferi.

Najjednostavniji način računanja temperaturnog gradijenta dobije se po izrazu:

$$\frac{\partial T}{\partial Z} = \frac{t_1 - t_2}{\Delta H} \quad (1)$$

Međutim, u formuli (1) se pretpostavlja da je temperaturni gradijent u području opažanja konstantan i da temperature u točki 1 i 2 nisu podložne lokalnim utjecajima.

Mehanička upotreba formule (1) nije dopustiva za stanice na brdu i u dolini iz razloga inverzije temperature tla, pogotovo u jutarnjim i večernjim satima. Zato je način koji je primjenio Niklaus Wunderlin bliži stvarnom stanju.

* Adresa autora: Mr Milivoj Florijan, dipl. inž., Fakultet građevinskih znanosti Osijek, Drinjska 16a.

Iz gore navedenih parametara sastavljen je kompjutorski program za računanje kuta refrakcije, koji je testiran na konkretnim primjerima. Pri tom autor ne prešućuje odstupanje od realnosti, već ih čak naglašava.

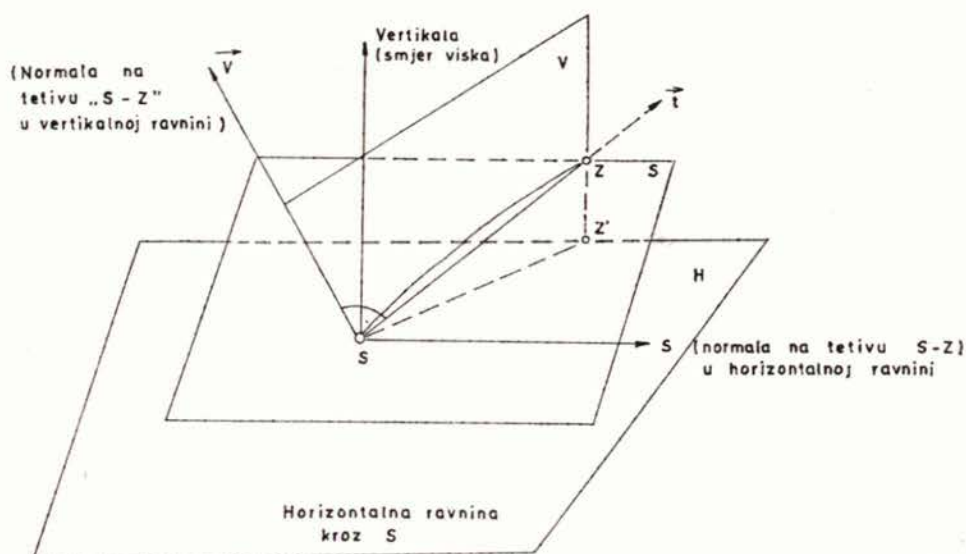
Program TGREFR (temperaturni gradijent i refrakcija) i nakon dosta godina istraživanja još danas se ne može promatrati kao konačan. Autor naglašava da je program obrađen tako da korisnik ima što više prostora za »igru« i to ne samo mogućnost rješavanja različitih zadataka (polje temperature oko stajališne točke, postavljanje modela temperature kao funkcije visine iznad mora i doba dana, zatim vertikalni i horizontalni (bočni) kut refrakcije za određenu vizuru) već ostavlja i mogućnost slobodnog izbora različitih parametara.

Program TGREFR je napisan u Algolu 60, a koristi se input-output koji odgovara CDC — primjeni »Knuth Proposals«. Eksterni potprogrami nisu potrebni. Pri tom su upotrebljeni računari CDC — 6400/6500 računskog centra Visoke tehničke škole u Zürichu (RZETH). Dužina riječi tog računara je 60 bitova, tj. unutarnja točnost računanja je na 14 znamenki, dok centralna memorija obuhvaća oko 120.000 riječi.

2. SVRHA I MOGUĆNOSTI PROGRAMA

2.1. Općenito

Program TGREFR računa za vizuru (svjetlosni put) između stajališne točke »S« i vizurne točke »Z«, kut refrakcije u »S«, tj. kut između tetive »S—Z« i tangente na krivulju (svjetlosnu zraku). Po izboru, može se izračunati vertikalni kut refrakcije » δ_v « ili horizontalni kut refrakcije » δ_h «. Ovaj zadnji naziva se još i bočna refrakcija (vidi sl. 1).



Sl. 1

Izračunavanje kuta refrakcije sljedi iz zakrivljenosti svjetlosnog puta između vizurne i stajališne točke, a koji je funkcija temperature, temperaturnog gradijenta, gradijenta tlaka zraka i tlaka. Iz toga se računa program na osnovu određenog meteorološkog modela. Taj model je definiran poznavanjem gornjih parametara. Prvo se računaju temperaturni gradijenti, odnosno njihove komponente $\left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z}\right)$ iz poznavanja temperaturnog toka u atmos-

feri, a iz njih se računa temperatura T i to: iznad stajališne (S) i vizurne točke (Z), kao i iznad nekih bitnih točaka loma terena (K_k), zatim duž vizure u određenim prikladno izabranim intervalima (ΔS_i). Može se izračunati i temperaturno polje $T(z, t)$ za neku točku s koje nije mjereno. U izrazu $T(z, t)$, T je funkcija nadmorske visine » Z « i dobi (vrijeme) dana, » t «, tj. $T = f(z, t)$.

2.2. Polazni podaci

Za realniji model atmosfere potrebno je imati više točnih podataka. Ako ne postoji numerička vrijednost za neki parametar, bolje ga je ne uvoditi u model.

U shemi 1, slika 2, autor je dao blokdiagram za izračunavanje temperaturnog gradijenta. U njemu su date potrebne veličine i to: detaljan (digitaliziran) zemljišni model duž vizura (uz srednje visine i nagib tla), mjesto, datum, vremenske veličine, koje s jedne strane moraju stajati na raspolaganju za program, dok s druge strane ako postoje mjerene temperature, i one se mogu koristiti u računanju po programu.

Opaska: Shema 1 (blokdiagram) je sastavljena, kao što je već gore napisano, za računanje temperaturnog gradijenta (grad T). Inače to je pojednostavljena shema data na osnovu formula, koje je dao autor, a koristeći pri tom iskustva Kukkamäkia i Levalloisa. Nakon izračunatog temperaturnog gradijenta računa se kut refrakcije po formuli:

$$\delta_0 = \sum_{i=1}^n \frac{1 - S_i}{1} k_i \Delta S_i, \quad (2)$$

gdje je

δ_0 = kut refrakcije u stajališnoj (početnoj) točki

S_i = udaljenost nekog (srednjeg) odsječka na vizuri od stajališne točke

l = duljina vizure

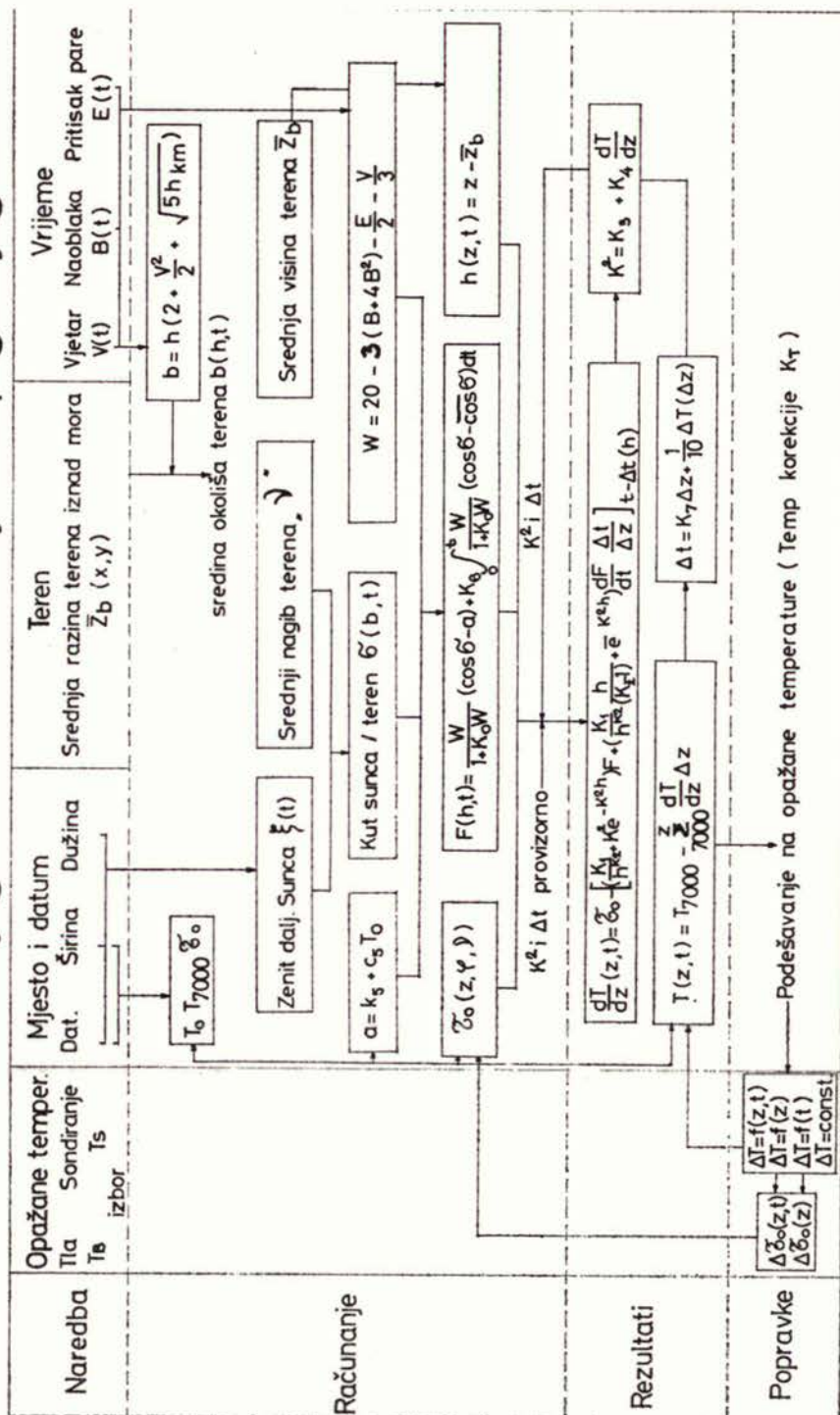
k_i = zakrivljenost nekog odsječka (razdjeljka) vizure — (lokalni koeficijent refrakcije)

ΔS = odsječak (vizure).

Općenita formula za računanje refrakcije je:

$$\delta = \int_{s=0}^{s=l} \frac{1 - S}{1} \kappa(s) ds \quad (3)$$

Schema 1. Blok dijagram za računanje temp. gradij. (grad.T.)



gdje je:

$$\alpha(S) = 2280 \frac{P}{T^2} \left(1 + 0,03 \frac{dT}{dz} \right), \quad (4)$$

a predstavlja lokalni koeficijent refrakcije. U toj jednadžbi je sadržan vertikalni temperaturni gradijent, tlak i temperatura. Izraz (4) je nastao integracijom diferencijalne jednadžbe,

$$\alpha = \frac{1}{n} \text{ grad } n \quad (5)$$

Primjedba: Vizura je dijeljena tako u dijelove (ΔS_i) da su »grad T«, a time i zakrivljenost » α « uzete kao konstantne. Jedino je tako moguće numeričkom integracijom izračunati kut refrakcije » δ « na stajališnoj točki.

Zadatkom (naredbom) moraju biti utvrđene određene upravljačke veličine, zatim granične vrijednosti kao i numeričke vrijednosti koeficijenta k_0 do k_8 . Autor je dao slijedeće vrijednosti za konstante, $k_0 - k_8$ (radi usporedbe) i to za vizuru »Goult — Lubrou« u Francuskoj . . .

Tablica 1.

	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	—
goult	0,01	2,00	1,8	2,5	0,05	0,15	0,15	3	0,01	—

2.3. Tok računanja

Iz polaznih vrijednosti navedenih u (2.2.) izračunavaju se, kao međurezultati, slijedeće veličine (usporedi shemu 1, na sl. 2):

- Normalna vrijednost τ_0 (temperaturnog gradijenta), iz geografske širine » φ « i datuma »D«. Vrijednost τ_0 je funkcija nadmorske visine »z«, ali ne i visine h iznad tla. On nije ovisan o trenutnom osvjetljenju (emitiranju) sunca.
- Pomoću zadanog terena, koji je izražen u digitalnoj formi, kao i podataka iznad vizure
 - 1/ podjela vizure u intervale ΔS_i , za koje se temperaturni gradijent (τ), a time i zakrivljenost (α) smiju uzeti kao konstantni
 - 2/ utvrđivanje bitnih točaka loma (K_k)* u profilu terena ispod vizure
 - 3/ nadmorska visina »Zi« nagib »srednjeg okoliša terena, točka »S«, » K_k « i »Z«.

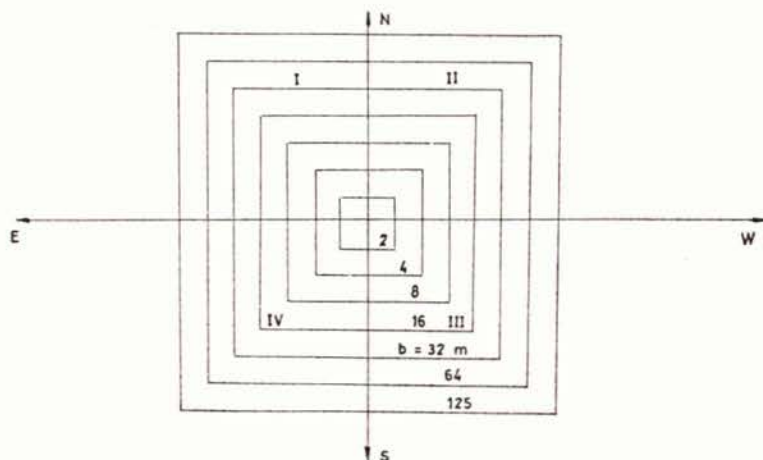
* Autor kaže da se ne mora pod svaku cijenu pretpostaviti da se je temperatura atmosfere duž vizure dobila dovoljno točno, a da bi se mogla koristiti za računanje koeficijenta $2280 \frac{P}{T^2}$ u formuli (4). Vizura se stoga dijeli na dijelove sa malo točaka maksimalno 6), gdje bi bila moguća linearna interpolacija temperature (a ne temperaturnog gradijenta). Inače, temperatura iznad tih točaka se dobije iz temperaturnog gradijenta izračunatih na tim mjestima do 7000 m iznad mora.

Za interval vizure (ΔS_i) može se uzeti radius »b« čitave strane kvadrata (vidi sl. 3).

Obrazloženje: Digitalan zemaljski (terenski) model duž vizure ima za osnovu kvadratnu mrežu. U Švicarskoj kod sastavljanja programa TGREFR, uzete su srednje visine terena na kvadratima dimenzija 500×500 m.

Na sl. 3. vide se četiri kvadranta (sektora), gdje je:

$b = 2, 4, 8, 16, 32, 64, 125, 250, 500, \dots 8000, \dots 16000$ m, tj. približno 2^k metra. Pomoću te kvadratne mreže dobiju se kod vizura koje treba obraditi



Sl. 3

izabrane točke: »S«, »K_k« (duž vizure) i »Z«, zatim srednje nadmorske visine terena, $\bar{z}_b^I \dots \bar{z}_b^{IV}$ iz planova i karata odgovarajućeg mjerila. Ako nedostaju veličine \bar{z}_b , može se izvršiti interpolacija.

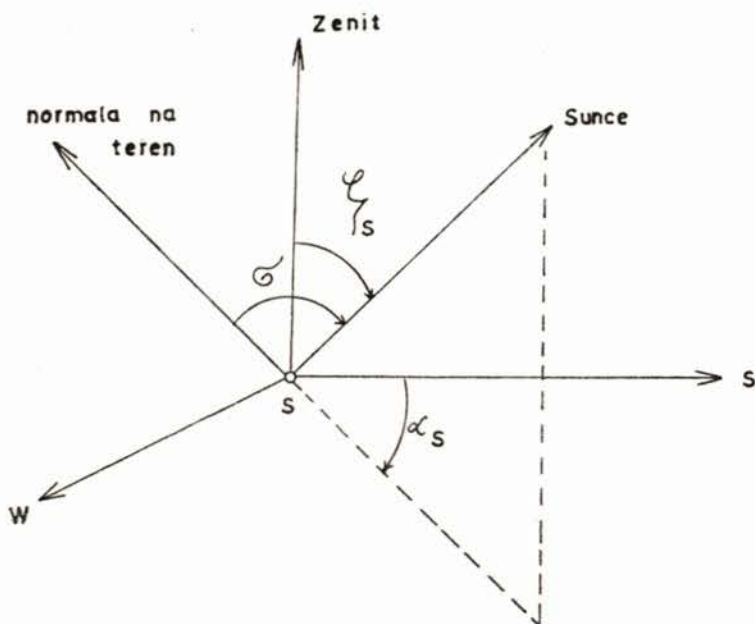
- Dalje, zenitna daljina sunca ξ_s (za svaki sat dana t), iz datuma i geografske širine i dužine (φ, λ).
- Kut σ , između normale na teren i smjera Sunca (za svaki sat dana t i svaku standardnu visinu $h = 2, 4, \dots 1024, 2048$ m, iznad »S«, »K_k« i »Z«, odnosno za visine h_i svakog intervala vizure ΔS_i), iz nagiba »v« srednjeg terena, sl. 4., i zenitne daljine ξ , Sunca. Satni kut Sunca, jednadžba vremena, deklinacija Sunca i azimut, računaju se iz poznatih astronomskih formula.
- Vremenski faktor »W« (za svaki sat dana t , eventualno razdvojeno za svaku 1/3 vizure), iz meteoroloških podataka (naoblake »B«, tlaka pare »E« i jačine vjetrova »V«). Taj faktor »W« je mjera za intenzitet osvjetljenja (zagrijavanja), odnosno radijacije (hlađenja).
- Funkcija F (funkcija osvjetljenja) i njena promjena $\frac{dF}{dt}$ (za svaki sat t u danu »t«, kao i pripadajuće zakašnjenje u vremenu Δt za standardnu visinu h iznad »S«, »K_k« i »Z« i za svaku visinu h_i intervala vizure, ΔS_i),

iz vremenskog faktora »W«, kuta osvjetljenja Sunca » σ « i veličine zračenja »a«.

Opaska: U veličini $a(t)$ sadržano je zračenje dijela Zemlje i zemljinog omotača. Ta veličina se bira kao funkcija standardne temperature T_0 (na tlu) i time je ovisna o datumu D, nadmorskoj visini, \bar{z} i o širini, φ . Autor je za veličinu zračenja dao izraz:

$$a(t) = k_s + c_s T_0$$

U programu TGREFR se uzima $k_s = 0,15$, a $c_s = 0,010$ ili $k_s = 0,10$ a $c_s = 0,015$, (vidi tablicu 2). S tim vrijednostima je $F(t)$ [kod Levalloisa $f(t)$] u



Sl. 4

Tablica 2.

T_0	-15°	-10°	-7°	0°	$+7^\circ$	$+10^\circ$	$+13^\circ$	$+20^\circ$	
a	0	0,05	0,08	0,15	0,22	0,25	0,28	0,35	} $k_s = 0,15$ $c_s = 0,010$
a	0	0	0	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	

toku noći i do 1—2h po izlazu Sunca, negativna, a u toku dana, pozitivna, da bi 1—2h prije zalaza Sunca, bila opet negativna.

2.4. Rezultati.

Iz međurezultata (2, 3) τ_0 , h , W , F , $\frac{dF}{dt} \Delta t$, računaju se slijedeće veličine:

- Komponente $\left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z}\right)$ temperaturnog gradijenta i to za svaki sat dana »t« od 0—24h (SEV) i za standardne visine, $h = 2, 4, \dots, 1024, 2048$ m iznad srednjeg terena nadmorske visine \bar{z} , sa »S«, »K_k« i »Z« (stajalište, vizurnu točku i točku loma terena) i za intervale ΔS_i (vizure).
- Iz gornjih komponenti pomoću numeričke integracije polazeći od standardne vrijednosti T_0 , za $z = 7000$ m iznad mora računa se temperaturno polje $T(z, t)$ za svaki sat dana »t« od 0—24h i za nadmorske visine $z_i = \bar{z}_i + h_i$, pri čemu je $h_i = 1, 5, 6, \dots, 1536, 3072$ m i to za »S«, »K_k« i »Z«, zatim se izračunava $T(t)$ za svaki dijelac ΔS_i vizure interpolacijom između odgovarajućih vrijednosti $T(h_i, t)$ točaka S, K_k i Z.
- Ukoliko su se mjerile temperature tla ili je sondirano, može se temperaturno polje u »S« prilagoditi vrijednostima mjerenja pomoću temperaturnih popravaka K_T , pri čemu postoje 4 različite mogućnosti: $K_T = \text{const.}$, $K_T = f(t)$, $K_T = f(z, t)$, $K_T = f(z)$ (posljednja dva izraza imaju za posljedicu promjenu temperaturnog gradijenta $\frac{dT}{dz}$).
- I konačno se iz dobivenih temperaturnih gradijenata i temperatura za pojedine dijelove ΔS_i vizure određuju pripadajuće zakrivljenosti svijetlosne zrake $\chi(i, t)$ a iz toga se za svaki sat dana »t« izračunava kut refrakcije » δ « u stajališnoj točki »S« (kao što je to opisano pod opaskom u (2,2)).

2.5. Mogućnost izbora

Ako treba odrediti samo temperaturni gradijent i iz toga temperaturno polje $T(z, t)$ pojedinog stajališta (bez vizure) onda se mogu ispustiti tri velika dijela programa TGREFR i ostaje samo program TGR (temperaturni gradijent).

Ako istog dana treba obraditi različite stanice ili vizure, tada se prilagođavanje na temperaturu tla (tj. temperaturne popravke K_T s odgovarajućim popravkama za temperaturne gradijente), može koristiti s prve obrađene stranice za ostale.

Ako istu vizuru treba obraditi u raznim danima, tada unošenje digitaliziranog modela terena mora uslijediti samo jednom. Podjela vizure na dijelove uz određivanje visine »h_i« dijelova ΔS_i iznad »srednjeg terena« i njihov nagib ν_i računaju se uvijek ponovo, pošto su ovisni o vjetru, odnosno vremenu.

Opaska: Osim indikatora datog kao »izlaz« (output) iz računara za temperaturno polje $T(z, t)$, S, Z: dužine ΔS_i , h_i i $\chi(i, t)$ dijela vizure i $\delta(t)$, refrakcije, mogu se po želji dobiti:

- tablica visine terena \bar{z} (date i interpolirane vrijednosti)
- tablica (za sve jačine vjetra u boforima) podjele vizure u dijelove s visinom h_i , ν_i , (sredina terena)
- grafički prikaz (skica) temperaturnog polja $T(z, t)$ iznad S i Z.

2.6. Ograničenja

- Temperatura i temperaturni gradijenti iznad 7000 m se ne računaju.
- Vertikalna i bočna refrakcija iste vizure ne mogu se izračunati odjednom (treba mijenjati program).
- Računanje kuta refrakcije na vizurnoj točki (istovremeno s onom na stajališnoj točki) nije moguće.
- Svi rezultati: temperatura, temperaturni gradijenti, zakrivljenost, kut refrakcije, računaju se od sata do sata između 0—24h jednog dana (u jednom ulazu).
- Postoji još ograničenja (nedostataka) i to fizikalno-meteorološke prirode (pogreške modela).

3. ZAKLJUČAK

Ovaj prikaz ima cilj da do sada skupljeno znanje učini jasnijim i to onako kako se može koristiti u izgradnji programskog sistema TGREFR, odnosno pokaže fizikalne osnove i misaonu pozadinu matematičkog formuliranja. Iz prethodnog prikaza se vidi da program TGREFR uglavnom to i omogućuje, pri čemu funkcija $F(h, t)$ igra fundamentalnu ulogu. Sam program ne bi trebao služiti mehaničkom stvaranju temperaturnog gradijenta i kuta refrakcije, već treba služiti svijesnom kritičkom eksperimentiranju. Atmosferski model TGREFR — zakazuje pred relativno kompliciranim i vremenskim brzim promjenama vanjskih prilika. Niti temperaturna popravka K_T ne može tu pomoći, jer ona nije vremenski varijabilna, tj. ne može slijediti opće zagrijavanje tokom dana.

Fizikalno dosta komplicirano programiranje uvjetuje odgovarajuće obimno upravljanje, koje se djelomično ne može automatizirati, ali djelomično se to namjerno ostavlja korisniku, kako bi mu ostalo što više slobode kod biranja konstanti, funkcija, mogućnosti izlaza, i drugo.

LITERATURA:

- [1] Niklaus Wunderlin: Algol Program TGREFR, Modellatmosphäre und Refraktion, Zürich dis. 1979.

SAŽETAK

U članku je opisan kompjutorski program TGREFR za računanje temperaturnog gradijenta i kuta refrakcije. Program je zapisan u programskom jeziku Algol 60, a sastavio ga je Niklaus Wunderlin [1]. Opisana je svrha programa, a uz dane ulazne podatke opisan je tok računanja, te komentirani rezultati. Navedene su i mogućnosti programa.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel wird das Computer-Programm TGREFR für die Ausrechnung des Temperaturgradienten und des Refraktions-winkels dargestellt. Das Programm ist von Niklaus Wunderlin [1] verfaßt worden, es ist auf der Programmsprache Algol 60 geschrieben. In der Arbeit ist der Zweck des Programms geschildert. Zu den gegebenen Input-Daten ist auch der Rechnungsverlauf beschrieben als auch die erläuterten Ergebnisse (Output). Die Möglichkeiten des Programms werden dabei auch angeführt.